植 物 分 类 与 资 源 学 报 2013, **35** (5): 656~664
Plant Diversity and Resources DOI: 10.7677/ynzwyj201313134

云南省国家级和省级自然保护区森林生态服务功能价值评估

华朝朗, 杨 东, 赵元藩, 温庆忠, 陶 晶, 宋劲忻, 邓喜庆, 毕艳玲
(云南省林业调查规划院, 云南省自然保护区研究监测中心, 云南 昆明 650051)

摘要: 采取文献查阅、资料数据处理、统计分析等研究方法, 选取合理、成熟、可操作的森林生态服务评估体系和方法 (LY/T 1721-2008), 测算出云南省国家级、省级自然保护区森林生态系统在涵养水源、保育土壤、固碳释氧、积累营养物质、净化大气环境、生物多样性保护等6类生态系统服务功能的物质量和价值量, 并从森林类型、质量、立地状况等多方面进行了分析。经评估, 云南省自然保护区森林生态系统服务年总价值为2 009.02亿元。其中, 涵养水源价值为538.75亿元; 保育土壤价值为493.79亿元; 固碳释氧价值为122.09亿元; 积累营养物质价值为16.11亿元; 净化大气环境价值为83.21亿元; 生物多样性保护价值为755.07亿元。保护区每年每公顷森林生态系统服务价值平均为12.31万元, 相当于全国平均水平的2.9倍, 云南省平均水平的2.4倍。

关键词: 自然保护区; 森林生态系统服务; 价值; 评估; 云南
中图分类号: S 759.9, Q 948 **文献标识码**: A **文章编号**: 2095-0845(2013)05-656-09

Assessment of Forest Ecosystem Services Value of the National and Provincical Nature Reserves in Yunnan Province

HUA Chao-Lang, YANG Dong, ZHAO Yuan-Fan, WEN Qing-Zhong, TAO Jing, SONG Jin-Xin, DENG Xi-Qing, BI Yan-Ling
(*Yunnan Research and Monitoring Center of Nature Reserve*, *Yunnan Institute for Forest Inventory and Planning*, Kunming 650051, China)

Abstract: Based on the "Forest Ecosystem Services Assessment Standards" (LY/T1721-2008) issued by the State Administration of Forestry, the forest ecosystem services of all the national and provincical nature reserves in Yunnan Province were evaluated using the public data issued by the authoritative departments and the technical literature data by published publicly. The matter quantity and value of forest ecosystem reflected in service functions including water conservation, soil conservation, carbon fixing and oxygen releasing, nutrient accumulation, atmospheric environment decontaminating and biodiversity conservation were evaluated. The forest service functions were analyzed from different perspectives such as vegtation types, stand quality, soil types and site conditions as well. The results showed that the total value of these six forest ecosystem services in all the national and provincial nature reserves of Yunnan province were RMB 200.902 billion per year, of which the value of water conservation, soil conservation, carbon fixing and oxygen releasing, nutrient accumulation, atmospheric environment decontaminating and biodiversity conservation, accounted for RMB 53.875 billion, RMB 49.379 billion, RMB 12.209 billion, RMB 1.611 billion, RMB 8.321 billion and RMB 75.507 billion respectively. The annual average forest ecosystem service of nature reserves in Yunnan Province is RMB 123.1 thousand per hectare, which was 2.9 times equivalent to the national average, and 2.4 times to the average level of Yunnan Province.

Key words: Nature reserve; Forest ecosystem services; Value; Assessment; Yunnan

---

收稿日期: 2013-06-16, 2013-07-30 接受发表
作者简介: 华朝朗 (1973-) 男, 硕士, 高级工程师, 主要从事生物多样性调查、监测与保护规划工作。E-mail: huacl@163.com

森林生态系统服务功能是森林生态系统与生态过程所形成并维持的人类赖以生存的自然环境条件与效用，主要包括涵养水源、保育土壤、固碳释氧、积累营养物质、净化大气环境、森林防护、生物多样性保护和森林游憩等（联合国千年生态系统评估组，2005；国家林业局，2008；张永利等，2010）。人类的生存一刻也离不开大自然所提供的各种产品和服务，人类社会的可持续发展是以健康的自然生态系统为基础的。但长期以来，人类已经习惯无偿地从大自然获取一切，对自然生态系统的肆意掠夺导致的生态问题已经严重威胁到人类的生存（李文华等，2008；张颖，2010）。对于任何东西明确其价值，特别是货币价值后，有助于人们去珍惜和善加利用。目前，人类对生态系统的影响不断加剧，全球生态系统正遭受空前的冲击和破坏，全球性和区域性的生态危机日益显现，使得人们逐渐审视和关注生态系统服务的价值，并开始影响社会决策。同时，自然环境也越来越影响到人类的社会经济活动，人类对于生态系统提供的资源、净化能力、舒适性以及生命支持系统的需求和依赖正深入影响着人类的活动（李金昌，1999；欧阳志云等，1999a；陈仲新和张新时，2000）。因此，如何度量和评估生态系统服务，揭示生态系统服务的重要性和价值，把生态系统服务价值观念融入决策体系，理解和协调保护与发展的关系，必须从自然科学、哲学、社会学、经济学等多学科交叉的角度去研究和认识生态系统服务的价值。

云南地处中国西南边陲，是一个集“边疆、山区、民族、贫困”四位一体的省份。云南也是全球生物多样性最丰富、最集中的地区之一，具有生物种类丰富、生态区位重要、生物区系关键、生态系统类型和生态景观极为多样、战略地位特殊等特点。云南的生物多样性保护受到了国内外的高度关注和重视，被列为国际生物多样性热点地区。自然保护区是全球保护生物多样性的最为关键的策略和最有效的途径，根据云南省林业厅统计，截止 2010 年底，云南省已建各种类型、不同级别的自然保护区 158 处，总面积 295.74×10^4 hm^2，占全省国土总面积的 7.5%。其中国家级自然保护区 16 处，面积 143.33×10^4 hm^2；省级自然保护区 44 处，面积 82.44×10^4 hm^2。生态系统类型及野生动植物类型自然保护区的森林集中保存了云南省最为原始、完整的森林生态系统和最为丰富的生物多样性，属高生态系统服务价值区域。

科学评估和量化自然保护区的生态系统服务，能够直观体现和反映自然保护区的重要性、价值和建设成绩；同时还能揭示不同自然保护区、不同森林类型的生态系统服务的规律和差异，为云南省自然保护区的建设管理和发展提供科学依据。

1　研究区域概况

研究范围确定为云南省范围内分布的生态系统和野生生物类别的国家级和省级自然保护区，涉及到 16 个国家级自然保护区和 40 个省级自然保护区，总面积 225.03×10^4 hm^2，占云南省自然保护区总面积的 76.1%，占云南省国土总面积的 5.7%。

根据云南省林业调查规划院 2005～2008 年完成的云南省森林资源规划设计调查成果，该区域内纳入评估的森林（纯林、混交林、竹林）面积为 163.20×10^4 hm^2，占评估面积的 71.16%，活立木总蓄积 27089.43×10^4 m^3。其中：纯林面积 114.09×10^4 hm^2，活立木总蓄积 18060.92×10^4 m^3；混交林面积 47.16×10^4 hm^2，活立木总蓄积 9028.51×10^4 m^3；竹林 1.95×10^4 hm^2。

2　研究方法

2.1　指标体系

采用《森林生态系统服务功能评估规范》（LY/T 1721-2008）进行森林生态系统服务分类，根据全面性、代表性、简明性和可操作性的指标选取原则，选取 6 个类别共 11 个指标评估研究区范围内自然保护区的生态系统服务价值（表 1）。

2.2　研究方法

2.2.1　*文献查阅*　收集、查阅和分析有关文献资料，掌握森林生态服务功能及价值评价国内外研究动态、相关知识和方法，确定评估体系、方法、评估指标参数（侯元兆等，1995；Daily，1997；Costanza 等，1997；薛达元等，1999；欧阳志云等，1999b；李金昌，1999；赵同谦等，2004；云南省发展计划委员会和云南省国土资源厅，2004；靳芳等，2005；李文华等，2008；丁晖和秦卫华，2009；中国森林生态服务功能评估项目组，2010）。

表1 森林生态系统服务功能评估指标体系

Table 1 Index system of the forest ecosystem services assessment

指标类别 Index category	指标 Index	备注 Remarks
涵养水源 Water conservation	调节水量 Water regulation 净化水质 Water quality purification	
保育土壤 Soil conservation	固土 Soil fixing 保肥 Fertilizer keeping	N、P、K、有机质 Organic matter
固碳释氧 Carbon fixation and oxygen release	固碳 Carbon fixation 释氧 Oxygen release	
积累营养物质 Nutrients accumulation	林木营养积累 Nutrient accumulation	N、P、K
净化大气环境 Atmospheric environment purification	提供负离子 Negative oxygen ion 吸收污染物 Pollutants absorption 滞尘 Dust blocking	SO_2、氟化物 HF、氮氧化物 NO_2
生物多样性保护 Biodiversity conservation	物种保育 Species conservation	

2.2.2 *资源数据整理* 应用遥感、GIS、数据库等技术，对云南省森林资源调查数据、保护区边界数据进行处理，获取自然保护区各小班森林调查数据，结合自然保护区生态本底调查数据、植被空间分布规律、云南省野生动植物资源调查成果等，经处理获得各保护区植被数据、物种数据。

2.2.3 *评估结果计算与统计* 应用（LY/T 1721-2008）评价体系，根据确定的评估方法和公式，采用excel建立数学运算和统计模型，导入保护区森林资源数据和评估指标参数，获得森林生态系统服务功能的物质量、价值量等评估结果。

2.2.4 *结果分析* 应用统计分析、排序分析、GIS空间分析等工具对评估结果进行分析，发现自然保护区森林、环境状况等与生态系统服务功能之间内在的联系和规律。

2.3 数据来源

（1）云南省林业调查规划院2005~2008年完成的云南省森林资源规划设计调查成果；

（2）云南省各国家级、省级自然保护区科学考察报告和总体规划；

（3）1997~2001年开展的云南省野生动植物资源调查成果以及相关物种的科研和调查成果；

（4）大专院校、科研院所和保护区开展的其他相关研究、监测成果资料及公开发表的文献资料（方精云等，1996；赵敏和周广胜，2004；赵同谦等，2004；李怒云和吕佳，2009）；

（5）国家发展改革委员会、环保部、农业部、卫生部等相关部门通过网站、内部资料以及公开出版物（中国水利年鉴编纂委员会，2000；中国水利部，2002）发布的社会公共数据。

上述数据均以2011年之前最新发布为准。

3 结果与分析

3.1 总物质量和总价值

3.1.1 *总物质量* 云南省国家级和省级自然保护区森林生态系统服务功能各项指标物质量评估结果见表2。

3.1.2 *总价值* 云南省国家级和省级自然保护区森林生态服务年总价值为2 009.02亿元。其中，涵养水源价值为538.75亿元/a，占26.82%；保育土壤价值为493.79亿元/a，占24.58%；固碳释氧价值为122.09亿元/a，占6.08%；积累营养物质价值为16.11亿元/a，占0.80%；净化大气环境价值为83.21亿元/a，占4.14%；生物多样性保护价值为755.07亿元/a，占37.58%。

保护区单位面积森林生态服务功能价值平均为12.31万元/(hm^2·a)。

3.2 价值分布格局

各自然保护区森林生态服务功能价值及单位面积价值情况见表3。

3.3 不同级别保护区价值量

国家级自然保护区森林生态服务功能价值为1 436.34亿元/a，占71.49%；省级自然保护区为572.68亿元/a，占28.51%。国家级自然保护区森林生态服务功能单位面积价值为13.72万元/(hm^2·a)，省级自然保护区为9.78万元/(hm^2·a)。

3.4 不同森林类型价值量

纯林生态服务功能价值为1 372.44亿元/a，占68.31%；混交林为616.71亿元/a，占30.70%；竹林为19.87亿元/a，占0.99%。纯林生态服务功能单位面积价值为12.03万元/(hm^2·a)，混交林为13.08万元/(hm^2·a)，竹林为10.22万元/(hm^2·a)。

表 2 森林生态系统服务功能物质量评估表

Table 2 Estimated matter quantity of forest ecosystem services

指标类别 Index category	指标 Index	物质量 Mass
涵养水源 Water conservation	调节水量 Water regulation	$56.53\times10^8 m^3/a$
保育土壤 Soil conservation	固土 Soil stabilise	$19672.18\times10^4 t/a$
	减少 N 损失 N fixation	$72.64\times10^4 t/a$
	减少 P 损失 P fixation	$22.49\times10^4 t/a$
	减少 K 损失 K fixation	$272.89\times10^4 t/a$
	减少有机质损失 Organic matter fixation	$1782.82\times10^4 t/a$
固碳释氧 Carbon fixation and oxygen release	固碳 Carbon fixation	$332.01\times10^4 t/a$
	释氧 Oxygen release	$888.85\times10^4 t/a$
积累营养物质 Nutrients accumulation	林木积累 N Accumulation N	$5.46\times10^4 t/a$
	林木积累 P Accumulation P	$0.38\times10^4 t/a$
	林木积累 K Accumulation K	$3.77\times10^4 t/a$
净化大气环境 Atmospheric environment purification	提供负离子 Supply of negative ion	2.42×10^{25} 个/a
	吸收 SO_2 Absorb SO_2	$22.27\times10^4 t/a$
	吸收氟化物 Absorb HF	$0.50\times10^4 t/a$
	吸收氮氧化物 Absorb NO_2	$0.98\times10^4 t/a$
	滞尘 Dust blocking	$3068.73\times10^4 t/a$

表 3 各自然保护区森林生态系统服务功能价值及其排序表

Table 3 Ranking of different nature reserves by their values of forest ecosystem services

自然保护区 Nature reserve	价值 Monetary value/(万元·a^{-1})	百分比 Percent	单位面积价值 Monetary value of per hectare/(万元·hm^{-2}·a^{-1})	排序 Ranking	自然保护区 Nature reserve	价值 Monetary value/(万元·a^{-1})	百分比 Percent	单位面积价值 Monetary value of per hectare/(万元·hm^{-2}·a^{-1})	排序 Ranking
高黎贡山国家级 Gaoligongshan	4314158.11	21.47	15.38	1	大雪山国家级 Daxueshan	180837.16	0.90	11.89	11
西双版纳国家级 Xishuangbanna	3255985.83	16.21	14.38	2	菜阳河省级 Caiyanghe	82590.96	0.41	11.84	12
白马雪山国家级 Bamaxueshan	2587668.67	12.88	13.91	3	文山国家级 Wenshan	221780.88	1.10	11.68	13
分水岭国家级 Fenshuiling	554907.12	2.76	13.46	4	纳板河国家级 Nabanhe	206692.08	1.03	11.56	14
铜壁关省级 Tongbiguan	1008895.63	5.02	13.08	5	老君山省级 Laojunshan	48445.80	0.24	11.31	15
无量山国家级 Wuliangshan	377503.89	1.88	12.94	6	元阳观音山省级 Guanyingshan	161581.51	0.80	11.18	16
哀牢山国家级 Ailaoshan	770197.86	3.83	12.72	7	黄连山国家级 Huanglianshan	543672.65	2.71	11.06	17
南滚河国家级 Nangunhe	595568.45	2.96	12.70	8	云龙天池省级 Tianchi	67313.21	0.34	10.74	18
古林箐省级 Gulinqing	72097.30	0.36	12.37	9	兰坪云岭省级 Yunling	583415.01	2.90	10.51	19
大围山国家级 Daweishan	389276.21	1.94	11.96	10	碧塔海省级 Bitahai	102589.96	0.51	10.49	20

续表 3 Table 3 continued

自然保护区 Nature reserve	价值 Monetary value/ (万元·a^{-1})	百分比 Percent	单位面积价值 Monetary value of per hectare/ (万元·hm^{-2}·a^{-1})	排序 Ranking	自然保护区 Nature reserve	价值 Monetary value/ (万元·a^{-1})	百分比 Percent	单位面积价值 Monetary value of per hectare/ (万元·hm^{-2}·a^{-1})	排序 Ranking
玉龙雪山省级 Yulongxueshan	120968.82	0.60	10.39	21	拉市海省级 Lashihai	25518.44	0.13	8.78	39
威远江省级 Weiyuanjiang	78244.41	0.39	10.35	22	大山包国家级 Dashanbao	32436.72	0.16	8.69	40
糯扎渡省级 Nuozaidu	175037.73	0.87	10.35	23	苍山洱海国家级 Cangshanerhai	261625.18	1.30	8.58	41
小黑山省级 Xiaoheishan	56663.49	0.28	10.23	24	轿子山省级 Jiaozishan	31821.14	0.16	8.47	42
临沧澜沧江省级 Lanchangjiang	1282377.53	6.38	10.23	25	朝天马省级 Chaotianma	44803.89	0.22	8.20	43
哈巴雪山省级 Habaxueshan	113848.85	0.57	10.06	26	西歧桫椤省级 Xiqisuoluo	15806.42	0.08	7.72	44
南捧河省级 Nanpenghe	308934.11	1.54	9.86	27	紫溪山省级 Zixishan	113340.51	0.56	7.69	45
驮娘江省级 Tuoniangjiang	118004.11	0.59	9.51	28	纳帕海省级 Napahai	18.10	0.00	7.68	46
药山国家级 Yaoshan	26802.99	0.13	9.44	29	十八连山省级 Shibalianshan	8244.46	0.04	7.24	47
阿姆山省级 Amushan	108046.28	0.54	9.39	30	沾益海峰省级 Haifeng	120541.86	0.60	6.93	48
麻栗坡老山省级 Laoshan	106202.60	0.53	9.26	31	驾车省级 Jiaoche	26815.03	0.13	6.83	49
腾冲北海省级 Beihai	5293.03	0.03	9.13	32	青华绿孔雀省级 Qinghua	3889.95	0.02	6.69	50
三江口省级 Sanjiangkou	6030.42	0.03	9.07	33	雕翎山省级 Diaolinshan	3976.70	0.02	6.59	51
泸沽湖省级 Luguhu	41572.91	0.21	9.06	34	普渡河省级 Puduhe	71.14	0.00	6.47	52
元江省级 Yuanjiang	134145.01	0.67	9.05	35	普者黑省级 Puzhehei	12512.33	0.06	6.45	53
会泽国家级 Huize	44320.55	0.22	8.84	36	剑湖省级 Jianhu	10410.71	0.05	6.18	54
金光寺省级 Jinguangsi	74419.04	0.37	8.78	37	珠江源省级 Zhujiangyuan	444117.59	2.21	6.05	55
孟连竜山省级 Longshan	474.19	0.00	8.78	38	海子坪省级 Haiziping	7698.50	0.04	5.98	56

3.5 不同优势树种价值量

不同优势树种森林生态服务功能年总价值和年单位面积价值评估结果见表4。

3.6 不同植被类型价值量

不同植被类型森林生态服务功能价值评估结果见表5。

3.7 不同森林起源价值量

天然林生态服务功能价值为1 945.90 亿元/a，占96.86%；人工林为42.89 亿元/a，占2.13%；飞播林为20.23 亿元/a，占1.01%。天然林单位

表 4　各优势树种森林生态服务功能价值与单位面积价值

Table 4　Total and per hectare value of forest ecosystem services of different dominant tree species

优势树种森林 Forest by dominant tree species	价值 Monetary value/（亿元·a^{-1}）	百分比 Percent	单位面积价值 Monetary value of per hectare/（万元·hm^{-2}·a^{-1}）	排序 Ranking	优势树种森林 Forest by dominant tree species	价值 Monetary value/（亿元·a^{-1}）	百分比 Percent	单位面积价值 Monetary value of per hectare/（万元·hm^{-2}·a^{-1}）	排序 Ranking
云南松类 Yunnan pine	248.53	12.37	9.49	15	桦类 Birch	6.57	0.33	11.36	10
华山松 Armand pine	35.57	1.77	8.72	16	木荷 Schima superba	9.96	0.50	11.56	8
杉木类 China fir	8.67	0.43	10.47	12	桤木 Alder	24.6	1.22	10.15	14
冷杉 Fir	264.08	13.14	14.19	2	桉类 Eucalyptus	0.66	0.03	7.75	17
云杉类 Spruce	152.25	7.58	14.13	3	软阔 Softwood	11.40	0.57	11.50	9
落叶松 Larch	8.74	0.44	11.65	7	硬阔 Hardwood	45.83	2.28	14.95	1
柏类 Cypress	2.22	0.11	10.58	11	其它阔叶 Other broad-leaved	569.45	28.34	13.15	4
栎类 Quercus	585.7	29.15	12.38	6					
栲类 Castanopsis	14.92	0.74	12.70	5	竹类 Bamboo	19.87	0.99	10.22	13

表 5　不同植被类型森林生态服务功能价值与单位面积价值

Table 5　Total and per hectare value of forest ecosystem services of different vegetation types

植被型 Vegetation type	植被亚型 Vegetation subtypes	价值 Monetary value/（亿元·a^{-1}）	百分比 Percent	单位面积价值 Monetary value of per hectare/（万元·hm^{-2}·a^{-1}）	排序 Ranking
雨林 Rainforest	湿润雨林 Moist rainforest	3.76	0.19	15.09	1
	季节雨林 Seasonal rainforest	97.20	4.84	14.47	2
	山地雨林 Montane rainforest	116.08	5.78	14.44	4
季雨林 Monsoon forest	半常绿季雨林 Semi evergreen monsoon forest	4.72	0.23	10.63	17
	落叶季雨林 Deciduous monsoon forest	4.05	0.20	12.10	13
	石山季雨林 Karst monsoon forest	22.34	1.11	12.85	9
常绿阔叶林 Evergreen broad-leaved forest	季风常绿阔叶林 Monsoon evergreen broad-leaved forest	372.22	18.53	12.20	12
	半湿润常绿阔叶林 Semi-humid evergreen broad-leaved forest	46.57	2.32	10.92	16
	中山湿性常绿阔叶林 Montane moist evergreen broad-leaved forest	397.77	19.80	13.11	8
	山地苔藓常绿阔叶林 Mountane mossy evergreen broad-leaved forest	86.51	4.31	12.37	11
	山顶苔藓矮林 Elfin forest	19.87	0.99	14.47	2
硬叶常绿阔叶林 Sclerophyllous evergreen broad-leaved forest	寒温山地硬叶常绿阔叶林 Cold-temperate mountain sclerophyllous evergreen broad-leaved forest	57.11	2.84	11.81	14
	干热河谷硬叶常绿阔叶林 Dry-hot valley sclerophyllous evergreen broad-leaved forest	0.01	0.00	6.47	27
落叶阔叶林 Temperate forest	落叶栎林 Deciduous oak forest	1.17	0.06	9.23	21
	桤木林 Alder forest	24.64	1.23	10.26	19
	杨、桦林 Poplar-birch forest	9.12	0.45	11.74	15
	枫杨林 Pterocarya forest	0.34	0.02	12.72	10
暖性针叶林 Warm coniferous forest	暖温性针叶林 Warm temperate coniferous forest	173.61	8.64	8.95	25
	暖热性针叶林 Warm coniferous forest	25.73	1.28	10.41	18

续表5 Table 5 continued

植被型 Vegetation type	植被亚型 Vegetation subtypes	价值 Monetary value/(亿元·a^{-1})	百分比 Percent	单位面积价值 Monetary value of per hectare/(万元·hm^{-2}·a^{-1})	排序 Ranking
温性针叶林 Temperate coniferous forest	温凉性针叶林 Temperate coniferous forest	164.73	8.20	13.85	6
	寒温性针叶林 Cold temperate coniferous forest	300.17	14.94	13.90	5
竹林 Bamboo forest	热性竹林 Warm bamboo forest	10.16	0.51	9.13	23
	暖性竹林 Warm bamboo forest	0.81	0.04	9.59	20
	寒温性竹林 Cold temperate forest	7.23	0.36	13.33	7
人工林 Plantation	人工乔木阔叶林 Artificial trees broad-leaved forest	5.60	0.28	9.08	24
	人工乔木针叶林 Artificial trees coniferous forest	55.82	2.78	9.16	22
	人工竹林 Artificial bamboo forest	1.67	0.08	8.12	26

面积价值为12.45万元/(hm^2·a)，人工林为8.70万元/(hm^2·a)，飞播林为10.18万元/(hm^2·a)。

3.8 不同龄组价值量

幼龄林生态服务功能价值为207.76亿元/a，占10.34%；中龄林为504.99亿元/a，占25.14%；近熟林为477.1亿元/a，占23.75%；成熟林为488.98亿元/a，占24.34%；过熟林为310.30亿元/a，占15.45%；竹林未划分龄组，生态服务功能价值为19.87亿元/a，占0.99%。幼龄林生态服务功能单位面积价值为9.70万元/(hm^2·a)，中龄林为11.23万元/(hm^2·a)，近熟林为13.16万元/(hm^2·a)，成熟林为13.64万元/(hm^2·a)，过熟林为13.65万元/(hm^2·a)。

3.9 不同郁闭度价值量

疏林（郁闭度0.20～0.39）生态服务功能价值为69.04亿元/a，占3.44%；中林（郁闭度0.40～0.69）为948.84亿元/a，占47.23%；密林（郁闭度0.70以上）为991.14亿元/a，占49.33%。疏林单位面积价值为9.55万元/(hm^2·a)，中林为11.42万元/(hm^2·a)，密林为13.59万元/(hm^2·a)。

3.10 不同土壤类型价值量

不同土壤类型森林生态服务功能价值评估结果见表6。

3.11 不同坡度价值量

不同坡度森林生态服务功能价值评估结果见表7。

表6 不同土壤类型森林生态服务功能价值与单位面积价值

Table 6 Total and per hectare value of forest ecosystem services of different soil types

土壤类型 Soil type	价值 Monetary value/(亿元·a^{-1})	百分比 Percent	单位面积价值 Monetary value of per hectare/(万元·hm^{-2}·a^{-1})	排序 Ranking
砖红壤 Latosol	34.15	1.70	12.19	5
赤红壤 Laterite soil	462.06	23.00	13.23	3
红壤 Red soil	305.26	15.19	9.47	10
黄壤 Yellow soil	110.03	5.48	11.63	8
黄棕壤 Yellow brown soil	294.51	14.66	11.98	7
棕壤 brown soil	350.89	17.47	13.01	4
暗棕壤 Dark brown soil	387.79	19.30	14.47	1
棕色针叶林土 Brown coniferous forest soil	41.14	2.05	14.10	2
燥红土 Dry red soil	2.95	0.15	9.35	11
褐土 Cinnamonsoil	0.87	0.04	11.29	9
石灰岩土 Limestone soil	4.20	0.21	7.08	13
紫色土 Purple soil	9.74	0.48	9.18	12
火山灰土 Andisol	5.42	0.27	12.09	6

表 7　不同坡度森林生态服务功能价值与单位面积价值

Table 7　Total and per hectare value of ecosystem services of forests located at different slope gradients

坡度级 Grade level	价值 Monetary value/（亿元·a^{-1}）	百分比 Percent	单位面积价值 Monetary value of per hectare/（万元·hm^{-2}·a^{-1}）	排序 Ranking
平坡 Flat slope	37.01	1.84	9.18	5
缓坡 Gentle slope	56.92	2.83	7.96	6
斜坡 Slope	483.42	24.06	11.31	4
陡坡 Steep slope	826.10	41.12	12.54	3
急坡 Steinheilite	470.37	23.41	13.72	2
险坡 Dangerous slope	135.2	6.73	14.81	1

4　结论与讨论

4.1　结论

（1）云南省国家级和省级自然保护区每年提供的森林生态服务价值达 2 009.02 亿元，相当于云南省 2010 年地区生产总值（GDP）的 27.8%（云南省统计局和国家统计局云南省调查总队，2011）。以云南省 5.7% 的国土面积，提供了云南省 19.6% 的森林生态服务价值；自然保护区每公顷森林生态服务价值达 12.31 万元，是全国平均值 4.26 万元的 2.9 倍，云南省平均值 5.06 万元的 2.4 倍（中国森林生态服务功能评估项目组，2010）。充分体现了自然保护区这一特殊区域的森林生态服务的价值和地位。

（2）国家级和省级自然保护区每年的生物多样性保护价值达 755.07 亿元，在 6 项评估指标类中位居第一，占总价值量的 37.58%，符合自然保护区建立、建设和管理的功能和目的，彰显了自然保护区保护典型生态系统、珍稀濒危特有物种的潜在价值，奠定了云南省“动物王国”、“植物王国”以及林产业及生物产业发展的基石。

（3）自然保护区森林具极强的涵养水源和保育土壤功能，每年两类生态服务价值分别为 538.75 亿元、493.79 亿元，占总量 26.82% 和 24.58%。保护区森林每年涵养水源量为 56.53 亿立方米，其相当于 565 个中型水库（库容量为 0.1 亿立方米），相当于 26 个昆明松花坝水库（库容量为 2.19 亿立方米），每年可减少水库相关维护费用 34.31 亿元；保护区森林每年固土 19 672.18 万吨，减少土壤中 N、P、K 损失 368.02 万吨，略高于云南省 2010 年化肥总产量（折纯量），相当于全国 2010 年化肥总产量（折纯量）的 5.5%（云南省统计局和国家统计局云南省调查总队，2011）。充分反映了保护区森林在保水、保土、提高土壤肥力等方面极其重要的作用，收益最大的是农业生产、水利建设和水电产业。

（4）每年自然保护区森林固碳释氧和净化大气环境的价值达 205.30 亿元，约占总价值的 10%，体现了自然保护区在应对全球气候变化、净化空气质量，为人类提供良好的生存环境等方面具有特殊的作用。

（5）自然保护区森林生态服务价值反映出天然林高于人工林、混交林高于纯林、近成过熟林高于中幼林、密林高于疏林、陡坡高于缓坡等规律，单位面积价值较高的区域主要集中在滇西、滇南地区，呈现出西部高，自西北到西南、自西向东逐步降低的空间分布格局。从森林生态服务功能角度，为决策部门制定保护政策，如实施差异化的生态补偿，为保护区管理机构确定管理措施，有效保护森林、减少人为干扰，提高森林生态服务功能等提供了决策依据和支持。

4.2　讨论

（1）由于生态系统服务功能的复杂性以及人们对生态环境资产价值认识上的不统一，目前全世界对于生态系统服务功能价值评估的理论和方法还不完善，更没有统一；加上人们对于生态系统服务功能的内涵及形成和变化机理等缺乏明确的认识，这些因素直接导致了研究的不确定性，也影响了研究结果的公信力和可比性。

（2）生态系统服务评估的一个特征是需明确生产者和消费者，生产者是自然生态系统，消费者可能是不同的社会群体。一项生态产品或功能，只有被人类利用才能称之为服务，因此其生产量要大于服务量。本研究目前还主要是评估生态系统服务的生产量，并同目前大多数研究一样潜在假设：所有生产量都是服务量，社会大众是

消费者。今后可模拟从生产者到消费者的流动情况，这样才能明确谁收益、谁买单，以更好的指导生态补偿机制。

（3）开展森林生态系统服务功能的动态研究和空间异质性研究，对于自然保护区或森林管理决策具有更为实际的价值。但受限于森林生态服务基础研究的不足，难以细分不同森林类型、不同森林质量的评估指标参数，影响到本研究力求在空间异质性方面开展更深入探讨的努力。随着我国森林生态定位监测体系的建立和完善，结合森林资源动态监测，有必要细致开展动态研究和空间异质性研究。

（4）本次研究从可操作性角度，仅选取了部分重要森林生态服务功能，缺乏对非木质林产品、森林游憩等其他重要功能价值评估的研究，有待进一步的探讨。

致谢 感谢云南省林业厅郭辉军研究员、西南林业大学文冰教授提出了建设性意见和对论文的修改。

〔参 考 文 献〕

丁晖，秦卫华，2009．生物多样性评估指标及其案例研究［M］．北京：中国环境科学出版社

国家林业局，2008．森林生态系统服务功能评估规范（LY/T 1721-2008）［S］．北京：中国标准出版社

侯元兆，张佩昌，王琦等，1995．中国森林资源价值核算研究［M］．北京：中国林业出版社

李金昌，1999．生态价值论［M］．重庆：重庆大学出版社

李怒云，吕佳译（Ravindranath N. H.，Ostwald M.，2008），2009．林业碳汇计量（*Carbon Inventory Methods*）［M］．北京：中国林业出版社

李文华等，2008．生态系统服务功能价值评估的理论、方法与应用［M］．北京：中国人民大学出版社

联合国千年生态系统评估（MA）组，2005．生态系统与人类福祉：生物多样性综合报告［M］．北京：中国环境科学出版社

云南省统计局，国家统计局云南省调查总队，2011．云南统计年鉴［M］．北京：中国统计出版社

云南省发展计划委员会，云南省国土资源厅，2004．云南国土资源遥感综合调查［M］．昆明：云南科技出版社

张颖，2010．森林绿色核算的理论和实践［M］．北京：中国环境科学出版社

张永利，杨锋伟，王兵等，2010．中国森林生态系统服务功能研究［M］．北京：科学出版社

中国森林生态服务功能评估项目组，2010．中国森林生态服务功能评估［M］．北京：中国林业出版社

中国水利部，2002．水利建筑工程预算定额［M］．郑州：黄河水利出版社

中国水利年鉴编纂委员会，2000．中国水利年鉴［M］．北京：中国水利水电出版社

Chen ZX（陈仲新），Zhang XS（张新时），2000．Value of ecosystem benefit in China［J］．*Chinese Science Bulletin*（科学通报），**45**（1）：17—22

Costanza R，Arge R，Groot R *et al.*，1997．The value of the world's ecosystem services and natural capital［J］．*Nature*，（386）：253—260

Daily GC，1997．*Nature's Service*：*Societal Dependence on Natural Ecosystems*［M］．Washington D C：Island Press

Fang JY（方精云），Liu GH（刘国华），Xu SL（徐嵩龄），1996．Biomass and net production of forest vegetation in China［J］．*Acta Ecologica Sinica*（生态学报），**16**（5）：497—508

Jin F（靳芳），Lu SW（鲁绍伟），Yu XX（余新晓）*et al.*，2005．Forest ecosystem service and its evaluation in China［J］．*Chinese Journal of Applied Ecology*（应用生态学报），**16**（8）：1531—1536

Ouyang ZY（欧阳志云），Wang ES（王如松），Zhao JZ（赵景柱），1999a．Ecosystem services and their economic valuation［J］．*Chinese Journal of Applied Ecology*（应用生态学报），**10**（5）：635—640

Ouyang ZY（欧阳志云），Wang XK（王效科），Miao H（苗鸿），1999b．A primary study on Chinese terrestrial ecosystem services and their ecological-economic values［J］．*Acta Ecologica Sinica*（生态学报），**19**（5）：607—613

Xue DY（薛达元），Bao HS（包浩生），Li WH（李文华），1999．A study on tourism value of biodiversity in Changbaishan mountain biosphere reserve（cmbr）in Northeast China［J］．*Journal of Natural Resources*（自然资源学报），**14**（20）：140—145

Zhao TQ（赵同谦），Ouyang ZY（欧阳志云），Zheng H（郑华）*et al.*，2004．Forest ecosystem services and their valuation in China［J］．*Journal of Natural Resources*（自然资源学报），**19**（4）：480—491

Zhao M（赵敏），Zhou GS（周广胜），2004．Forest Inventory Data（FID）based biomass models and their prospects［J］．*Chinese Journal of Applied Ecology*（应用生态学报），**15**（8）：1468—1472